



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 41 848 A1 2004.03.25

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 41 848.9

(51) Int Cl. 7: H04B 10/08

(22) Anmelddatum: 09.09.2002

H04L 12/26

(43) Offenlegungstag: 25.03.2004

(71) Anmelder:

Advico Microelectronics GmbH, 45657  
Recklinghausen, DE

(72) Erfinder:

Grau, Günther, Dr., 46282 Dorsten, DE; Scheytt,  
Johann Christoph, Dr., 48734 Reken, DE

(74) Vertreter:

COHAUSZ & FLORACK, 40211 Düsseldorf

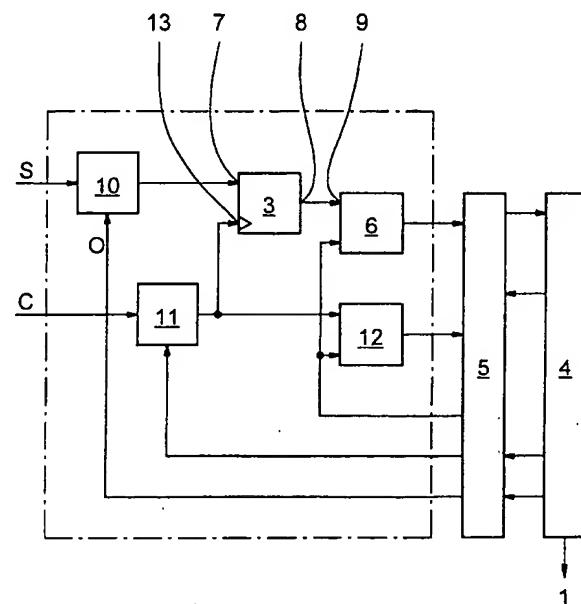
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Erfassung von optischen bzw. elektrischen Signalfolgen und Augenmonitor zur Erfassung und Darstellung von Signalfolgen

(57) Zusammenfassung: Dargestellt und beschrieben ist ein Verfahren zur Erfassung von optischen bzw. elektrischen Signalfolgen und ein Augenmonitor zur Erfassung und Darstellung von Signalfolgen, mit mindestens einem Schwellwertentscheider 3, mit mindestens einem Speicher 4 und mit einer Auswerteeinheit 5.

Mit dem erfindungsgemäßen Augenmonitor ist auch bei sehr hohen Übertragungsraten die Erzeugung eines Augendiagramms 1 dadurch möglich, daß mindestens ein Zähler 6 vorgesehen ist, daß die Signalfolge S an einem Eingang 7 des Schwellwertentscheiders 3 anliegt, daß ein einstellbarer Schwellwert SW am anderen Eingang 8 des Schwellwertentscheiders 3 anliegt und daß der Ausgang 9 des Schwellwertentscheiders 3 mit dem Eingang 10 des Zählers 6 verbunden ist.



BEST AVAILABLE COPY

**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung von optischen bzw. elektrischen Signalfolgen in einem optischen oder elektrischen Übertragungssystem, bei dem eine Vielzahl von aufeinander folgenden Signalen zu einem Abtastzeitpunkt periodisch mit mindestens einem einstellbaren Schwellwert abgetastet werden. Daneben betrifft die Erfindung noch einen Augenmonitor zur Erzeugung eines Augendiagramms einer Signalfolge, mit mindestens einem Schwellwertentscheider, mit mindestens einem Speicher und mit einer Auswerteeinheit.

[0002] In der Nachrichtentechnik werden Signale bzw. Signalfolgen über optische oder über elektrische Übertragungsstrecken übertragen. Entsprechend wird von einem optischen oder einem elektrischen Übertragungssystem gesprochen. Beiden Systemen ist gemeinsam, daß die Signalfolge auf ihrem Weg vom Sender zum Empfänger durch verschiedene Effekte beeinflußt, insbesondere gedämpft und verzerrt wird, so daß das Signal am Empfänger nicht mehr vollständig dem Signal am Sender entspricht. Um dennoch keine Fehler bei der Übertragung von Signalfolgen zu haben, ist es notwendig das empfangene Signal so aufzubereiten, daß im Empfänger die richtige Signalfolge erkannt wird.

[0003] Seit einigen Jahren werden in der Nachrichtentechnik verstärkt Glasfasern zur Übertragung hoher Datenraten über große Entfernungen verwendet. Dabei bestimmt neben der Dämpfung die Dispersion der übertragenen Signale die maximal mögliche Datenrate und die maximale Länge der Übertragungsstrecke der optischen Übertragungssysteme. Mit steigender Übertragungsrate und steigender Übertragungslänge kommt es zunehmend zu Verzerrungen der übertragenen Signale, so daß eine geeignete Signalverarbeitung erforderlich ist, um aus den empfangenen Signalen die ursprüngliche Signalfolge wiederzugewinnen, so daß keine Fehler bei der Übertragung auftreten.

[0004] Die Kompensation der insbesondere durch die Dispersion auftretenden Verzerrungen der Signale kann dabei sowohl auf optischem als auch auf elektrischem Wege durch eine Vorverzerrung im Sender oder eine Nachverzerrung im Empfänger geschehen. Bei geringen Übertragungsraten kann dies statisch erfolgen, beispielsweise durch Kaskadierung verschiedener Typen von Glasfasern mit unterschiedlichen Dispersionkoeffizienten bzw. durch Werwendung von dispersionskompensierenden Glasfasern oder durch die einmalige Einstellung elektrischer oder optischer Filter. Bei hohen Übertragungsfrequenzen ist eine derartige statische Kompensation jedoch nicht mehr ausreichend, da sich die Dispersioneffekte zeitlich verändern können. Insbesondere Temperaturänderungen, Druck und Torsion bzw. Erschütterungen der Glasfaser führen dabei zu einer Änderung der Dispersioneffekte, so daß eine dynamische Kompensation der Dispersioneffekte

erforderlich ist.

[0005] Durch die Dispersionseffekte, beispielsweise hervorgerufen durch Polarisationsmodendispersion oder chromatische Dispersion, tritt eine Verzerrung des Signals durch Überlappungen von Signalanteilen unterschiedlicher Polarisierung bzw. unterschiedlicher Wellenlänge auf. Die einzelnen Signalanteile breiten sich dabei mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in der Glasfaser aus, so daß die Signale zeitlich verschmiert im optischen Empfänger ankommen. Um die einzelnen Signale, die aufgrund der Dispersionseffekte überlagert im Empfänger ankommen, wieder zu trennen, ist somit eine dynamische Entzerrung der Signale erforderlich, bei der die zur Entzerrung verwendeten optischen oder elektronischen Filter dynamisch angepaßt werden müssen.

[0006] Zur dynamischen Anpassung der Filter ist eine Entscheidung darüber erforderlich, ob durch die Einstellung der Filter eine Signalverbesserung oder eine Signalverschlechterung eingetreten ist. Dies kann durch einen Vergleich der Ist-Daten mit den Soll-Daten geschehen, die beispielsweise durch Fehlerkorrektur auch auf der Empfängerseite gewonnen werden können.

[0007] Eingangs ist ausgeführt worden, daß die Erfindung ein Verfahren zur Erfassung von optischen bzw. elektrischen Signalfolgen betrifft. Ob man von einer optischen oder einer elektrischen Signalfolge spricht, hängt davon ab, an welcher Stelle man die Signalfolge betrachtet. In der Regel wird vom Sender eine elektrische Signalfolge erzeugt, die zunächst in eine optische Signalfolge umgewandelt wird und dann auf die Übertragungsstrecke, d.h. die Glasfaser, gegeben wird. Zur Rückgewinnung der ursprünglichen Signalfolge aus der verzerrten und verrauschten Signalfolge, die über die Glasfaser übertragen worden ist, wird zunächst das optische Signal in ein elektrisches Signal umgewandelt.

[0008] Die Datenregeneration erfolgt dann in der Regel mit einem Takt- und Datenrückgewinnungsbaustein (Clock and Data Recovery module, CDR), das zu einem "optimalen" Zeitpunkt die aufeinander folgenden Signale abtastet und den Wert in einem digitalen Speicher bis zum nächsten Meßpunkt bereitstellt. Als Ergebnis steht dann ein in Zeit und Amplitude entrausches Datensignal zur Verfügung. Zur Ermittlung des optimalen Zeitpunkts der Abtastung, d. h. des optimalen Meßpunktes, können zwei Takt- und Datenrückgewinnungsbausteine bei unterschiedlichen Meßpunkten betrieben werden, wobei das jeweils bessere Signal zum Empfang verwendet wird, während durch eine Verstellung des Meßpunktes, d. h. des Abtastzeitpunktes des anderen Takt- und Datenrückgewinnungsbausteins, mit dem zweiten Signal das Optimum gesucht wird. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn die empfangene Signalfolge noch insgesamt brauchbar ist, so daß sichergestellt ist, daß der gewählte Meßpunkt in der Nähe des optimalen Meßpunktes liegt. Ist dagegen die empfangene Signalfolge stärker verzerrt, so ist zunächst eine

Aussage über die Qualität der empfangenen Signalfolge erforderlich.

[0009] Eine direkte Messung der Qualität eines optischen Übertragungssystems bei einer digitalen Übertragung erfolgt im Stand der Technik meist mit Hilfe der Messung des Augendiagramms (eye diagramm). Das Augendiagramm ist ein sehr gutes Hilfsmittel, um Fehler in den einzelnen Komponenten eines Übertragungssystems zu bestimmen, und eine qualitative Aussage über die Leistung des Systems treffen zu können. Das Augendiagramm entsteht durch die Überlagerung von gleichartigen "1" und "0" Folgen der Signalfolge auf dem Schirm eines Oszilloskops.

[0010] Im Stand der Technik wird hierzu in der Regel eine analoge Sample and Hold-Schaltung verwendet, der ein Analog/Digital-Wandler nachgeschaltet ist. Ähnlich einem Oszilloskop kann so ein Abbild des Signals in Form eines Augendiagramms erzeugt werden. Die Sample and Hold-Schaltung ist deshalb erforderlich, da der Analog/Digital-Wandler um Größenordnungen langsamer arbeitet als das zu messende Signal und ein konstantes Eingangssignal voraussetzt. Die Sample and Hold-Schaltung besteht aus einem Speicherelement, in der Regel einem Kondensator, und einem elektrischen Schalter, der für ein extrem kurzes Zeitintervall geöffnet wird, so daß der Speicher auf den Wert des momentan gemessenen Signals aufgeladen wird.

[0011] Mit steigender Übertragungsfrequenz wird die Verwendung der Sample and Hold-Schaltung zunehmend problematisch. Da das Zeitfenster für die Erzeugung des Abtastwertes immer kleiner wird, muß bei einem vorgegebenen maximalen Laststrom auch die Speicherkapazität des Kondensators immer kleiner werden. Bei Übertragungsraten von bis zu 10 Gbit/s und mehr, insbesondere bei einer Übertragungsratenrate von 40 Gbit/s, müßte dann die Speicherkapazität des Kondensators einen Wert aufweisen, der geringer ist als die parasitären Kapazitäten eines integrierten Transistors, so daß Rauschen, Leckströme und Übersprechen die Genauigkeit der Messung stark beeinflussen oder eine Messung unmöglich machen.

[0012] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erfassung von optischen bzw. elektrischen Signalfolgen in einem optischen Übertragungssystem zur Verfügung zu stellen, mit dem auch bei sehr hohen Übertragungsraten eine Aussage über die Qualität des empfangenen Signals möglich ist, insbesondere ein Abbild der Signalfolge in Form eines Augendiagramms erzeugt werden kann. Daneben betrifft die Erfindung noch einen Augenmonitor, mit dem auch bei Übertragungsraten von mehreren Gbit/s ein Augendiagramm einer Signalfolge möglichst einfach, d.h. mit wenigen Bauteilen erzeugt werden kann.

[0013] Bei dem eingangs beschriebenen Verfahren ist die zuvor genannte Aufgabe zunächst und im wesentlichen dadurch gelöst, daß die Wahrscheinlich-

keit dafür ermittelt wird, daß der Wert der Signalfolge zu einem Abtastzeitpunkt größer oder kleiner als der jeweilige Schwellwert ist, daß nach einer vorgegebenen Zeitdauer der Schwellwert verändert wird und die Wahrscheinlichkeit dafür ermittelt wird, daß der Wert der Signalfolge zu dem neuen Abtastzeitpunkt größer oder kleiner als der neue Schwellwert ist und daß die Wahrscheinlichkeit des vorangegangenen Schwellwerts von der Wahrscheinlichkeit des aktuellen Schwellwerts abgezogen wird.

[0014] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die statistischen Eigenschaften der zu messenden Signalfolge ausgewertet. Die Signalfolge besteht dabei in der Regel aus einer Folge von elektrischen Signalen, d. h. Spannungen, die die digitalen Werte "1" und "0" des übertragenen Datensignals repräsentieren. Da die Maximalzahl von aufeinander folgenden identischen Bits, d. h. "1" oder "0" Folgen durch Kodierungsmechanismen begrenzt ist, weist das Augendiagramm zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen immer die gleiche Form auf.

[0015] Unter der Wahrscheinlichkeit, daß der Wert der Signalfolge zu einem Abtastzeitpunkt größer als ein bestimmter Schwellwert ist, wird das Verhältnis der Anzahl der Werte der Signalfolge, die größer als der Schwellwert sind zur Gesamtanzahl der abgetasteten Werte der Signalfolge verstanden. Bei einer Signalfolge, deren minimaler Wert größer als Null ist, wäre somit die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Wert der Signalfolge zu einem Abtastzeitpunkt größer als ein Schwellwert mit dem Wert Null ist, einhundert Prozent. Entsprechend wäre bei einer Signalfolge, deren Maximalwert kleiner als Eins ist, die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Wert der Signalfolge zu einem Abtastzeitpunkt größer als der Schwellwert mit dem Wert Eins ist, gleich Null Prozent.

[0016] Durch das erfindungsgemäße Verfahren werden somit die einzelnen Wahrscheinlichkeiten dafür ermittelt, daß die Signalfolge zu einem bestimmten Abtastzeitpunkt einen Wert aufweist, der innerhalb bestimmter Schwellwertbereiche liegt. Die einzelnen Schwellwertbereiche bestimmen sich dabei jeweils durch den Wert zweier aufeinanderfolgender Schwellwerte. Somit wird durch das erfindungsgemäße Verfahren die Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Auftreten einzelner Amplituden der Signalfolge zu einem bestimmten Abtastzeitpunkt ermittelt. Hat der erste Schwellwert den Wert 0 und der zweite Schwellwert den Wert 0,1, so würde im ersten Schritt die Wahrscheinlichkeit dafür ermittelt werden, daß der Wert der Signalfolge zwischen dem Wert 0 und dem Wert 0,1 liegt. In einem weiteren Schritt würde dann als neuer Schwellwert mit dem Wert 0,2 eingestellt und so die Wahrscheinlichkeit dafür ermittelt werden, daß der Wert der Signalfolge zwischen dem Wert 0,1 und dem Wert 0,2 liegt. Wenn die einzelnen Schwellwerte – wie zuvor angegeben – fortlaufend erhöht werden, wird bei der Differenzbildung der Wahrscheinlichkeit des vorangegangenen Schwellwertes von der Wahrscheinlichkeit des aktuellen Schwell-

wert eine Betragsbildung vorgenommen.

[0017] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Abtastzeitpunkt, zu dem die aufeinanderfolgenden Signale mit einem einstellbaren Schwellwert abgetastet werden, nach einer vorgegebenen bzw. einstellbaren Zeitdauer geändert.

[0018] Dabei wird gemäß einer ersten Alternative zunächst nacheinander die Wahrscheinlichkeit aller Schwellwerte zu einem ersten Abtastzeitpunkt ermittelt, anschließend der Abtastzeitpunkt verändert und werden anschließend für den neuen Abtastzeitpunkt wiederum nacheinander die Wahrscheinlichkeiten aller Schwellwerte ermittelt. Bei einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung werden zunächst die Wahrscheinlichkeiten für den ersten Schwellwert bei allen Abtastzeitpunkten ermittelt, anschließend wird der Schwellwert verändert und es werden dann für den neuen Schwellwert wiederum nacheinander die Wahrscheinlichkeiten bei allen Abtastzeitpunkten ermittelt.

[0019] Mit beiden Alternativen lässt sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Amplitude der Signalfolge nicht nur zu einem bestimmten Abtastzeitpunkt sondern über eine beliebige Zeitdauer ermitteln. Wird das Verfahren über mindestens eine Periodenlänge der Signalfolge durchgeführt, so lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren das Augendiagramm des übertragenen Signals vollständig rekonstruieren. Bei der ersten Alternative werden dabei nacheinander mehrere vertikaler Schnitte durch das Augendiagramm gemacht, während bei der zweiten Alternative nacheinander mehrere horizontale Schnitte durch das Augendiagramm gemacht werden.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich dabei vollständig ohne die Verwendung einer Sample and Hold-Schaltung und eines Analog/Digital-Wandlers realisieren, so daß die eingangs beschriebenen Nachteile vermieden werden und die Messung eines Augendiagramms auch bei Übertragungsraten von 10 Gbit/s und mehr möglich ist.

[0021] Besonders einfach lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren realisieren, wenn die einzelnen Signale der Signalfolge einem Schwellwertentscheider zugeführt werden, die Ergebnisse des Schwellwertentscheiders in einem Ereigniszähler gezählt werden und das Ergebnis des Ereigniszählers einem Speicher zugeführt wird. Wird ein größerer Wert auf die Schnelligkeit des Verfahrens gelegt, so können die einzelnen Signale der Signalfolge gleichzeitig auch mehrere Schwellwertentscheidern zugeführt werden, die jeweils einen unterschiedlichen Schwellwert aufweisen, so daß der Bereich zwischen dem größten und dem kleinsten zu erwartenden Wert in eine der Anzahl der Schwellwertentscheider entsprechende Anzahl von Teilbereichen unterteilt wird.

[0022] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird vorteilhafterweise der erste Schwellwert entweder auf einen Wert größer als der größte erwartete Wert der Signalfolge oder auf einen Wert kleiner als der

kleinste erwartete Wert der Signalfolge eingestellt. In beiden Fällen kann die erste Messung gleichzeitig zur Kontrolle herangezogen werden, da im ersten Fall die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Wert der Signalfolge größer als der Schwellwert ist gleich 0 % sein muß; entsprechend muß die Wahrscheinlichkeit im zweiten Fall gleich 100 % sein. Nach einer bestimmten Anzahl von Messungen bzw. einer bestimmten Zeitdauer wird dann – im ersten Fall – der Schwellwert verringert bzw. – im zweiten Fall – der Schwellwert erhöht. Dies wird dann jeweils so oft wiederholt, bis der Schwellwert – im ersten Fall – kleiner als der kleinste erwartete Wert bzw. – im zweiten Fall – größer als der größte erwartete Wert der Signalfolge ist.

[0023] Bei dem Eingangs beschriebenen Augenmonitor zur Erzeugung eines Augendiagramms einer Signalfolge ist die zuvor hergeleitete Aufgabe dadurch gelöst, daß mindestens ein Zähler vorgesehen ist, daß die Signalfolge einem Eingang des Schwellwertentscheiders zugeführt ist und daß der Ausgang des Schwellwertentscheiders mit dem Zähler verbunden ist.

[0024] Der erfindungsgemäße Augenmonitor zeichnet sich somit ebenfalls dadurch aus, daß weder eine Sample and Hold-Schaltung noch ein Analog/Digital-Wandler erforderlich ist.

[0025] Als Schwellwertentscheider und/oder als Zähler kann dabei ein einfaches Flip Flop verwendet werden. Bei dem erfindungsgemäßen Augenmonitor ist somit keine aufwendige Messung des jeweiligen Wertes bzw. der jeweiligen Amplitude des Signals erforderlich, sondern es wird lediglich mit Hilfe des Schwellwertentscheiders der jeweilige Wert des Signals mit einem vorgegebenen Schwellwert verglichen und das Ergebnis des Schwellwertentscheiders in dem Zähler gezählt.

[0026] Das erfindungsgemäße Verfahren bzw. der erfindungsgemäße Augenmonitor haben darüber hinaus den Vorteil, daß eine Aussage über die Qualität der Übertragungsstrecke und eine Kompensation von Verzerrungen auch dann möglich ist, wenn die Übertragungsfrequenz nicht oder nicht genau bekannt ist. Es ist somit nicht zwingend erforderlich, daß der Takt der Abtastung mit der Übertragungsfrequenz synchron ist; vielmehr ist auch eine asynchrone Messung möglich, da in jedem Fall eine Wahrscheinlichkeitsverteilung gemessen, d.h. ein Amplitudenhistogramm ermittelt werden kann. Aufgrund der gemessenen Wahrscheinlichkeitsverteilung lässt sich bereits eine Aussage über Qualität des Augendiagramms und damit über die Qualität der Übertragungsstrecke machen. Bei einer asynchronen Messung lässt sich beispielsweise die Übertragungsfrequenz selber auch dadurch ermitteln, daß – wie zuvor beschrieben – ein vertikaler Schnitt durch das Augendiagramm gemacht wird, aus dessen periodischen Amplitudenhistogramm bei bekannten Abtasttakt die Periodenlänge der Signalfolge ermittelt werden kann.

[0027] Im einzelnen gibt es nun eine Vielzahl von

Möglichkeiten, daß erfindungsgemäße Verfahren zur Erfassung von optischen bzw. elektrischen Signalfolgen bzw. den Augenmonitor zur Erzeugung eines Augendiagramms einer Signalfolge auszustalten und weiterzubilden. Hierzu wird verwiesen einerseits auf die den Patentansprüchen 1 und 9 nachgeordneten Patentansprüchen, andererseits auf die Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen

[0028] Fig. 1 das Augendiagramm einer Signalfolge S,

[0029] Fig. 2 die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Signalfolge S zu einem ersten Abtastzeitpunkt  $T_1$  und zu einem zweiten Abtastzeitpunkt  $T_2$  und

[0030] Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Augenmonitors zur Erzeugung eines Augendiagramms einer Signalfolge S.

[0031] Fig. 1 zeigt ein Augendiagramm 1 einer Signalfolge S, das mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. mit Hilfe des erfindungsgemäßen Augenmonitors ermittelt und dargestellt werden soll. Ein Augendiagramm 1 ist die übereinander gelagerte Darstellung aller Bits einer Signalfolge, wobei die Bits, die einer logischen "1" entsprechen, mit einem positiven, verrundeten Rechteck erscheinen, während die Bits, die einer logischen "0" entsprechen, durch ein negatives, verrundetes Rechteck dargestellt werden. Durch die Überlagerung der Bits ergibt sich eine Darstellung, die an die Form eines Auges erinnert. Dabei zeigt die Augendarstellung aufgrund der Überlagerung der Vielzahl einzelner Bits sowie aufgrund der vorhandenen Überschwinger ein unscharfes Bild.

[0032] Anhand eines solchen Augendiagramms 1 kann der Fachmann eine qualitative Aussage über das Übertragungssystem bzw. über die Qualität der empfangenen Signalfolge S treffen. Störungen in der Übertragungsstrecke, beispielsweise durch Dispersion auftretende Verzerrungen der Signalfolge S, führen beim Augendiagramm 1 zu einem "Schließen" des Auges. Da die Augenhöhe H dem Abstand der Bits, die einer logischen "1" entsprechen, zu den Bits, die einer logischen "0" entsprechen, angibt, kann die Messung der Augenhöhe H zur Optimierung der Übertragungsstrecke herangezogen werden. Je geringer die Augenhöhe H ist, um so schwieriger lassen sich die beiden Zustände der Signalfolge S – logisch "1" und logisch "0" – unterscheiden.

[0033] Erfindungsgemäß wird das in Fig. 1 dargestellte Augendiagramm 1 nun dadurch ermittelt, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilung 2 der Signalfolge S zu einem Abtastzeitpunkt  $T$ , ermittelt wird. Hierzu wird die Wahrscheinlichkeit  $W(SW_1)$  dafür ermittelt, daß der Wert der Signalfolge S zu einem Abtastzeitpunkt  $T$ , größer oder kleiner als der jeweilige Schwellwert  $SW_1$  ist. Nach einer vorgegebenen Zeitdauer  $t_s$ , die die Länge der Abtastphase festlegt, wird der Schwellwert  $SW_1$  verändert und die Wahrscheinlichkeit  $W(SW_2)$  dafür ermittelt, daß der Wert der Signalfolge

S zum Abtastzeitpunkt  $T_1$ , größer oder kleiner als der neue Schwellwert  $SW_2$  ist. Anschließend wird der Wahrscheinlichkeitswert  $W(SW_1)$  des ersten Schwellwertes  $SW_1$  vom Wahrscheinlichkeitswert  $W(SW_2)$  des zweiten Schwellwertes  $SW_2$  abgezogen. Dadurch wird dann die Wahrscheinlichkeit  $W(\Delta SW)$  dafür berechnet, daß der Wert der Signalfolge S zum Abtastzeitpunkt  $T_1$ , zwischen den beiden Schwellwerten  $SW_1$  und  $SW_2$  liegt.

[0034] Wird als erster Schwellwert  $SW_1$ , ein Wert gewählt, der größer als der größte erwartete Wert der Signalfolge S ist, so wird das zuvor beschriebene Verfahren so oft wiederholt, bis der Schwellwert  $SW_n$  einen Wert erreicht hat, der kleiner als der kleinste erwartete Wert der Signalfolge S ist. Entsprechend wird dann, wenn als erster Schwellwert  $SW_1$ , ein Wert gewählt wird, der kleiner als der kleinste erwartete Wert der Signalfolge S ist, das zuvor beschriebene Verfahren so oft wiederholt, bis der Schwellwert  $SW_n$  einen Wert größer als der größte erwartete Wert der Signalfolge aufweist. Als Ergebnis hält man dann die in Fig. 2a dargestellte Wahrscheinlichkeitsverteilung zu einem ersten Abtastzeitpunkt  $T_1$ ,

[0035] Die Fig. 2a und 2b zeigen die Wahrscheinlichkeitsverteilungen 2 zu zwei verschiedenen Abtastzeitpunkten  $T_1$  und  $T_2$ . Auf der waagerechten Achse sind dabei die einzelnen Schwellwerte  $SW$  angegeben, während auf der senkrechten Achse die Wahrscheinlichkeit  $W(SW)$  für das Auftreten von Abtastwerten größer einem bestimmten Schwellwert  $SW$  dargestellt ist. Man erkennt bei der Wahrscheinlichkeitsverteilungen 2 gemäß Fig. 2a, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilungen 2 dann, wenn der Abtastzeitpunkt  $T_1$ , in etwa in der Mitte des Augendiagramms 1 liegt, zwei relativ stark ausgeprägte Maxima aufweist. Die beiden Maxima entsprechen dabei den beiden logischen Werten "0" und "1". Befindet sich Abtastzeitpunkt  $T_2$ , jedoch deutlich außerhalb der Mitte des Augendiagramms 1, so weist die Wahrscheinlichkeitsverteilungen 2 gemäß Fig. 2b mehrere Maxima auf. Eine eindeutige Zuordnung einzelner Maxima zu den beiden logischen Werten "0" und "1" ist hier nicht mehr möglich.

[0036] Wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung 2 lediglich zu einem Abtastzeitpunkt  $T_1$ , bestimmt, so kann dadurch nur die Augenhöhe H zu diesem Abtastzeitpunkt  $T_1$ , ermittelt werden. Da ein Rückschluß auf die Qualität der Übertragungsstrecke aufgrund der ermittelten Augenhöhe H nur dann möglich ist, wenn der Abtastzeitpunkt  $T_1$ , "richtig" gewählt ist, d.h. die Abtastung in der Mitte des Auges erfolgt, ist eine Aussage über die Qualität der Übertragungsstrecke und damit eine Kompensation von Verzerrungen der Signalfolge S allein aufgrund der Augenhöhe H nur eingeschränkt möglich.

[0037] Vorteilhafterweise wird daher das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur zu einem Abtastzeitpunkt  $T_1$ , sondern zu einer Vielzahl von Abtastzeitpunkten  $T_n$  durchgeführt, so daß durch eine Auswertung der einzelnen Wahrscheinlichkeitsverteilungen

2 eine vollständige Rekonstruktion des Augendiagramms 1 möglich ist. Die Auflösung des Augendiagramms 1 lässt sich dabei einfach durch die Wahl der Abtastzeitpunkte  $T_n$  sowie die jeweilige Zeitdauer  $t_s$  der Abtastphase einstellen.

[0038] **Fig. 3** zeigt ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Augenmonitor; zur Erzeugung eines Augendiagramms 1 mit Hilfe des zuvor beschriebenen Verfahrens. Der Augenmonitor weist einen Schwellwertentscheider 3, einen Speicher 4 und eine zwischen den Schwellwertentscheider 3 und den Speicher 4 angeordnete Auswerteeinheit 5 auf. Erfindungsgemäß ist der Augenmonitor nun dadurch besonders einfach aufgebaut und trotzdem auch für Signalfolgen S mit sehr großer Übertragungsrate einsetzbar, daß ein Zähler 6 vorgesehen ist, wobei der Zähler 6 zwischen dem Schwellwertentscheider 3 und der Auswerteeinheit 5 angeordnet ist. Der Schwellwertentscheider 3 weist einen Eingang 7 für eine Signalfolge und einen Ausgang 8 auf, der mit dem Eingang 9 des Zählers 6 verbunden.

[0039] Bei dem in **Fig. 3** dargestellten Ausführungsbeispiel ist darüber hinaus noch ein Addierer 10, ein Phasenschieber 11 und ein zweiter Zähler 12 vorgesehen. Der Addierer 10 ist dabei vor dem Eingang 7 des Schwellwertentscheiders 3 angeordnet, so daß am Eingang 7 des Schwellwertentscheiders 3 nicht direkt die Signalfolge S sondern die Summe der Signalfolge S und einer einstellbaren Gleichspannung 0 anliegt. Durch die Anordnung des Addierers 10 vor dem Schwellwertentscheider 3 kann die Einstellung der einzelnen Schwellwerte SW durch eine Veränderung der Gleichspannung 0 erfolgen. Der Addierer 10 kann beispielsweise durch einen stromgespeisten Emitterfolger und einen dazu in Reihe geschalteten Widerstand realisiert werden. Wird der Schwellwert nicht direkt am Schwellwertentscheider 3 verändert, sondern indirekt durch eine Veränderung der Gleichspannung 0, die zur Signalfolge S addiert wird, so kann der Schwellwertentscheider 3 eine feste Schwelle aufweisen. Der Schwellwertentscheider 3 kann dann einfach durch ein schnelles Flip Flop realisiert werden.

[0040] Durch die Anordnung des Phasenschiebers 11 zwischen Taktignal C und dem Eingang 13 des Schwellwertentscheiders 3 kann die Erfassung der Wahrscheinlichkeitsverteilung 2 der Signalfolge S zu verschiedenen Abtastzeitpunkten  $T_n$  einfach realisiert werden. Auf den Phasenschieber 11 wird als Eingangssignal ein Taktignal C gegeben, wobei die Frequenz des Taktsignals C in der Regel so gewählt wird, daß die Übertragungsfrequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Taktfrequenz ist. Bei einer Übertragungsraten von z. B. 40 Gbit/s kann somit die Taktfrequenz C beispielsweise 1,25 GHz oder 2,5 GHz betragen.

[0041] Der zweite Zähler 12 dient zur Ermittlung der insgesamt gemessenen bzw. erfaßten Takte, so daß das Ergebnis des ersten Zählers 6 zum Wert des zweiten Zählers 12 in Verhältnis gesetzt werden

kann. Ein Eingang des zweiten Zählers 12 ist daher mit dem Phasenschieber 11 verbunden. Über den zweiten Eingang des ersten Zählers 6 und des zweiten Zählers 12 erfolgt eine Rücksetzung des ersten Zählers 6 bzw. des zweiten Zählers 12 durch die Auswerteeinheit und somit auch eine Einstellung der Zeitdauer  $t_s$ .

[0042] Im einzelnen gibt es eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeit für das erfindungsgemäße Verfahren bzw. den erfindungsgemäßen Augenmonitor. Neben der eingangs beschriebenen Entzerrung von Signalfolgen kann das Verfahren auch zu sogenannten "Quality of Service" Messungen eingesetzt werden, bei denen die Übertragungsqualität einer Übertragungsstrecke gemessen oder überprüft wird. Der erfindungsgemäße Augenmonitor kann beispielsweise in portablen Meßgeräten eingesetzt werden, mit denen das Augendiagramm einer Signalfolge angezeigt werden kann und so die Qualität der Übertragungsstrecke beurteilt werden kann.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung von optischen bzw. elektrischen Signalfolgen (S) in einem optischen oder elektrischen Übertragungssystem, bei dem eine Vielzahl von aufeinander folgenden Signalen zu einem Abtastzeitpunkt ( $T_1$ ) periodisch mit mindestens einem einstellbaren Schwellwert (SW) abgetastet werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahrscheinlichkeit ( $W_1$ ) dafür ermittelt wird, daß der Wert der Signalfolge (S) zu einem Abtastzeitpunkt ( $T_1$ ) größer oder kleiner als der jeweilige Schwellwert ( $SW_1$ ) ist, daß nach einer vorgegebenen Zeitdauer ( $t_s$ ) der Schwellwert ( $SW_1$ ) verändert wird und die Wahrscheinlichkeit ( $W_2$ ) dafür ermittelt wird, daß der Wert der Signalfolge (S) zu dem Abtastzeitpunkt ( $T_1$ ) größer oder kleiner als der neue Schwellwert ( $SW_2$ ) ist und daß die Wahrscheinlichkeit ( $W_1$ ) des vorangehenden Schwellwerts ( $SW_1$ ) von der Wahrscheinlichkeit ( $W_2$ ) des aktuellen Schwellwerts ( $SW_2$ ) abgezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Abtastzeitpunkt ( $T_x$ ), zu dem die aufeinander folgenden Signale mit einem einstellbaren Schwellwert (SW) abgetastet werden, nach einer vorgegebenen bzw. einstellbaren Zeitdauer ( $t_p$ ) geändert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst nacheinander die Wahrscheinlichkeiten ( $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ...) aller Schwellwerte ( $SW_1$ ,  $SW_2$ ,  $SW_3$ ...) bei einem ersten Abtastzeitpunkt ( $T_x$ ) ermittelt werden, anschließend der Abtastzeitpunkt ( $T_x$ ) verändert wird und dann für den neuen Abtastzeitpunkt ( $T_x$ ) wiederum nacheinander die Wahrscheinlichkeiten ( $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ...) aller Schwellwerte ( $SW_1$ ,  $SW_2$ ,  $SW_3$ ...) ermittelt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst die Wahrscheinlichkeiten ( $W_1$ ) für den Schwellwert ( $SW_1$ ) bei allen Abtastzeitpunkt ( $T_1, T_2, T_3\dots$ ) ermittelt werden, anschließend der Schwellwert ( $SW_1$ ) verändert wird und dann für den neuen Schwellwert ( $SW_2$ ) wiederum nacheinander die Wahrscheinlichkeiten ( $W_2$ ) bei allen Abtastzeitpunkt ( $T_1, T_2, T_3\dots$ ) ermittelt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten ( $W_1, W_2, W_3\dots$ ) die einzelnen Signale einem Schwellwertentscheider zugeführt werden, die Ergebnisse des Schwellwertentscheidens in einem Ereigniszähler gezählt werden und das Ergebnis des Ereigniszählers einem Speicher zugeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schwellwert ( $SW_1$ ) auf einen Wert größer als der größte erwartete Wert der Signalfolge (S) eingestellt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellwert ( $SW_2, SW_3, SW_4\dots$ ) nach jeder Zeitdauer ( $t_s$ ) verringert wird, bis der Schwellwert ( $SW_m$ ) auf einen Wert kleiner als der kleinste erwartete Wert der Signalfolge (S) eingestellt ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Schwellwert ( $SW_1$ ) auf eine Wert kleiner als der kleinste erwartete Wert der Signalfolge (S) eingestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellwert ( $SW_2, SW_3, SW_4\dots$ ) nach jeder Zeitdauer ( $t_s$ ) vergrößert wird, bis der Schwellwert ( $SW_m$ ) auf einen Wert größer als der größte Wert der Signalfolge (S) eingestellt ist.

10. Augenmonitor zur Erzeugung eines Augendiagramms einer Signalfolge (S), mit mindestens einem Schwellwertentscheider (3), mit mindestens einem Speicher (4) und mit einer Auswerteeinheit (5), insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Zähler (6) vorgesehen ist, daß die Signalfolge (S) einem Eingang (7) des Schwellwertentscheidens (3) zugeführt wird und daß der Ausgang (8) des Schwellwertentscheidens (3) mit dem Eingang (9) des Zählers (6) verbunden ist.

11. Augenmonitor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Addierer (10) vorgesehen ist, mit dem eine Gleichspannung (O) der Signalfolge (S) hinzugezählt wird und daß die Summe aus der Signalfolge (S) und der Gleichspannung (O) am Eingang (7) des Schwellwertentscheidens (3) anliegt.

12. Augenmonitor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß als Addierer (10) ein stromgepeister Emitterfolger mit einem in Reihe geschalteten Widerstand oder ein Stromspiegel verwendet wird.

13. Augenmonitor nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellwertentscheider (3) und/oder der Zähler (6) als Flip Flop ausgebildet ist.

14. Augenmonitor nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwellwertentscheider (3) mit einem einstellbaren Phasenschieber (12) verbunden ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

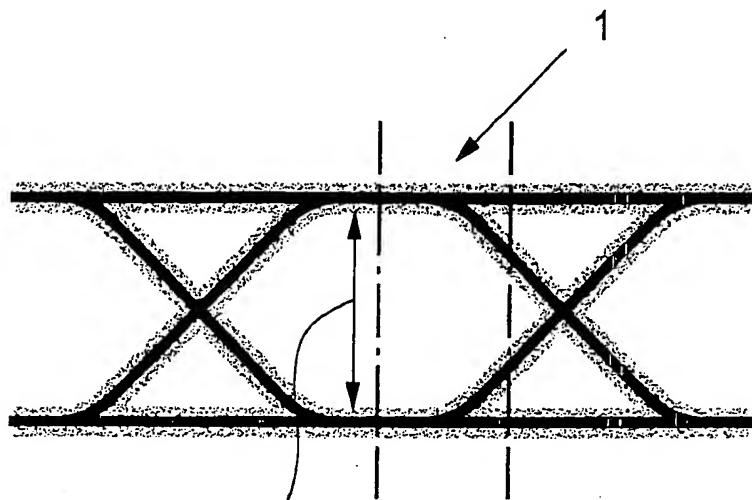


Fig. 1

$W(SW)$

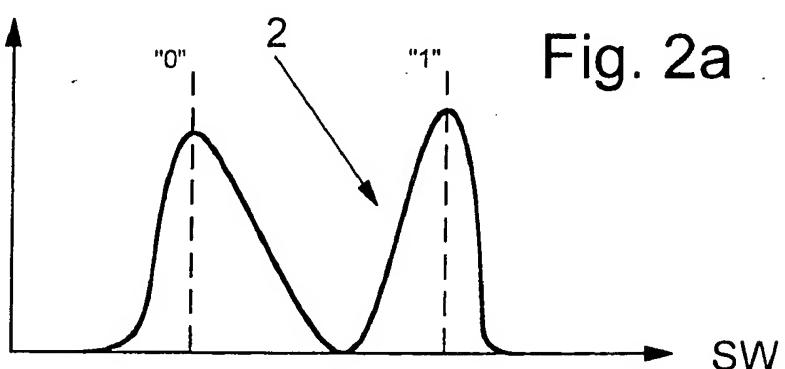


Fig. 2a

$W(SW)$

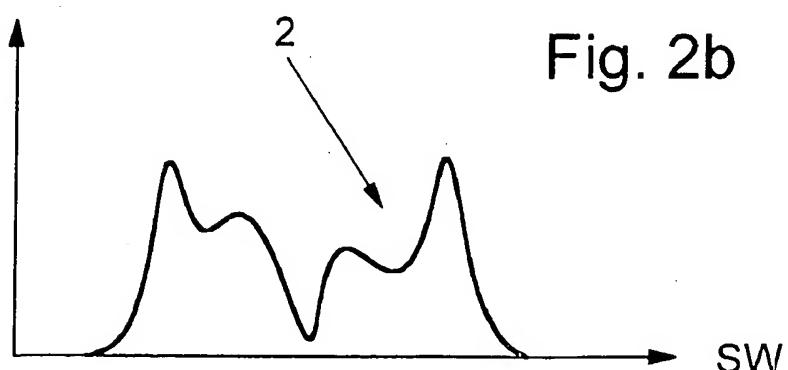


Fig. 2b

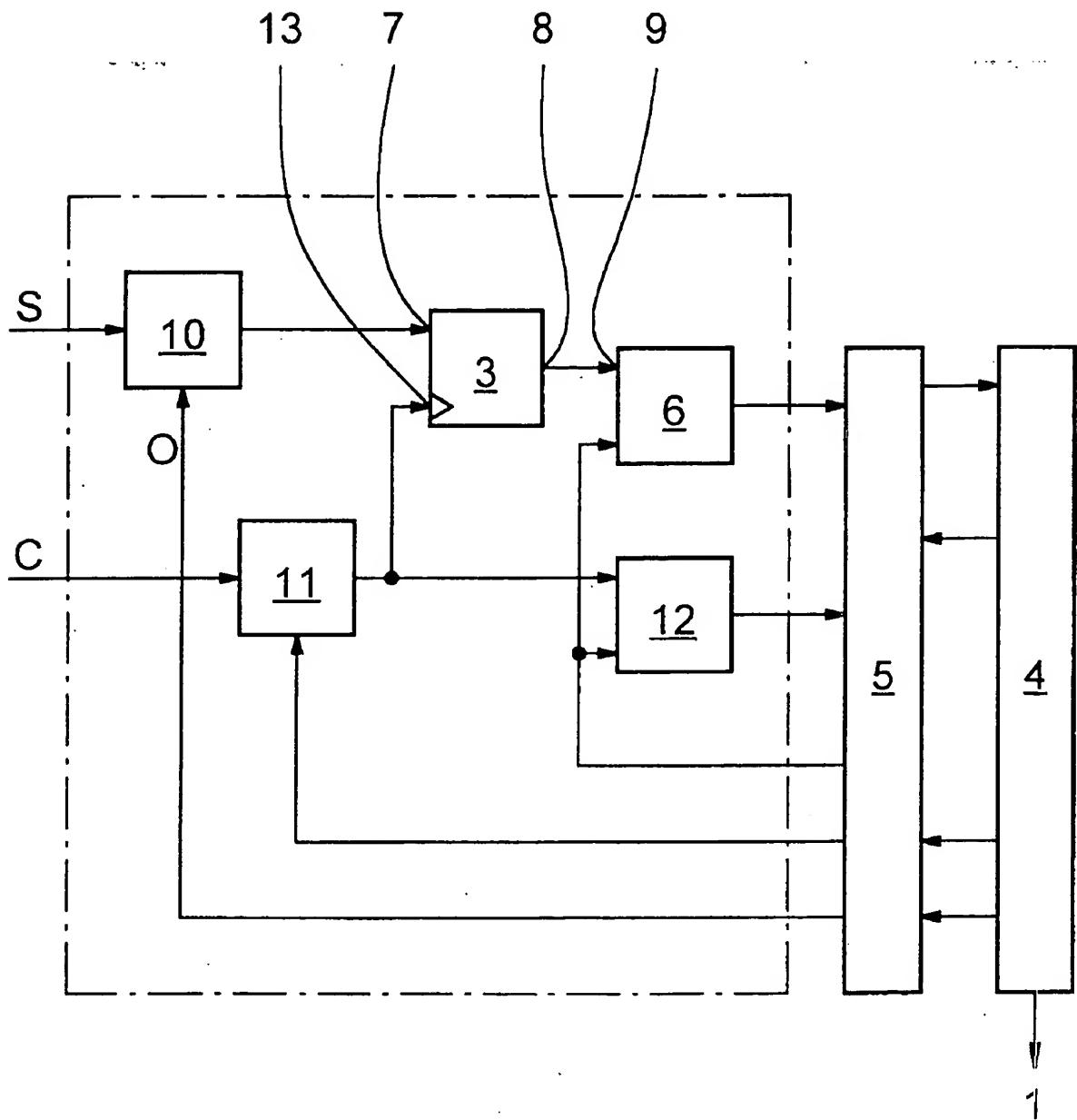


Fig. 3

**BEST AVAILABLE COPY**

THIS PAGE BLANK (USPTO)